

А. С. Юровских, С. В. Гриб, С. И. Степанов*, Е. Ю. Ковалев

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

* *s.i.stepanov@urfu.ru*

СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Методами световой и просвечивающей электронной микроскопии изучена микроструктура технически чистого титана марки ВТ1-0, изготовленного методом послойного лазерного плавления. Фазовый состав определен при помощи рентгеноструктурного фазового анализе РСФА. Показано, что высокая скорость охлаждения приводит к формированию высокой плотности дефектов и возможности формированию α -фазы по сдвиговому механизму. Сделан вывод о необходимости проведения отжига для повышения однородности структуры.

Ключевые слова: титан, мартенсит, послойное лазерное плавление, РСФА, ПЭМ.

A. S. Yurovskikh, S. V. Grib, S. I. Stepanov*, E. Yu. Kovalev

STRUCTURE OF COMMERCIALY PURE TITANIUM FABRICATED BY SELETIVE LASER MELTING

The microstructure of commercially pure titanium VT1-0 manufactured by selective laser melting has been studied by means of light and transmission electron microscopy. Phase composition was determined using XRD analysis. The high cooling rate resulted in the formation of a high density of defects and the formation of α -phase by a shear mechanism. It is concluded that annealing is necessary to increase the homogeneity of the structure.

Keywords: cp Ti, martensite, selective laser melting, XRD, TEM.

Образцы кубической формы были изготовлены аддитивным методом на установке MeltMaster3D-550 производства АО «НПО «ЦНИИТМАШ». Сплавление порошка проводили в защитной атмосфере Ar с использованием следующих параметров работы установки: размер пятна лазерного излучения на сплавляемом порошковом слое ~70 мкм, толщина слоя 50 мкм.

Исследования структуры выполняли с применением оптического микроскопа Nikon Epihot 200. Изучение тонкой структуры сплава проводилось на просвечивающем электронном микроскопе Jeol JEM200C. Качественный фазовый состав определялся на дифрактометре Bruker D8 Advance.

В соответствии с данными оптической микроскопии наблюдается 2 варианта морфологии α -фазы: пластинчатыми выделениями α' -мартенсита (рис. 1, а), которые, по-видимому, образовались по бездиффузионному сдвиговому механизму в ходе быстрого охлаждения при кристаллизации локальных объемов материала во время послойного спекания и частично рекристаллизованные зерна α -фазы (рисунок 1, б), формирующиеся в зоне термического влияния при разогреве металла вблизи зоны плавления [1, 2].

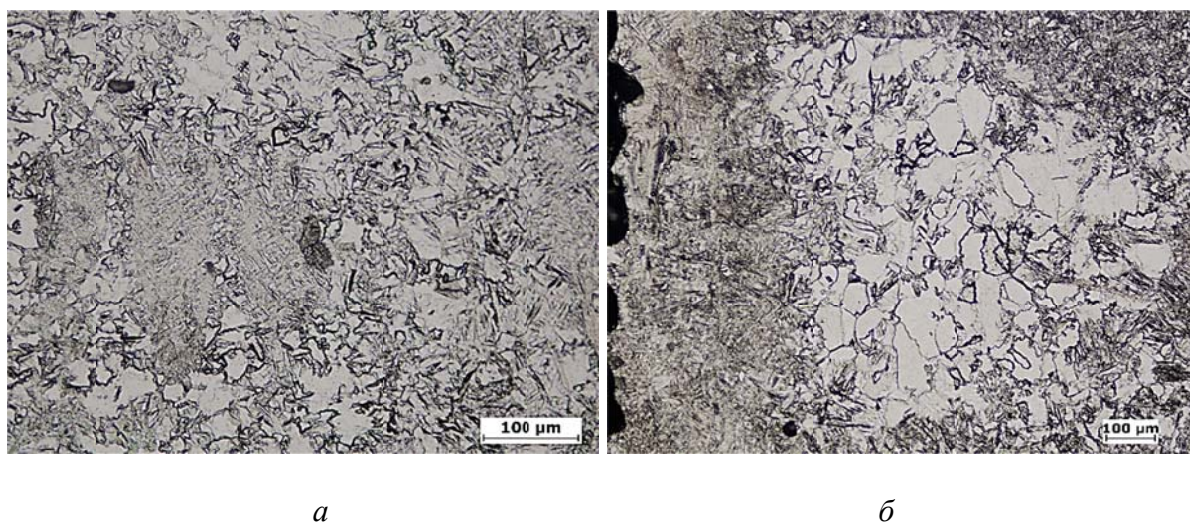


Рис. 1. Микроструктура нелегированного титана марки VT1-0, полученного методом СЛП

Микроструктура нелегированного титана марки VT1-0 методом просвечивающей электронной микроскопии представлена:

- пластинчатыми выделениями α' -мартенсита различных размеров (рис. 2, а)
- зернами α -фазы размером не менее 2 мкм с высокой плотностью дислокаций, которые формируют субзеренную структуру внутри них (рис. 2, б). Размер субзерен составляет в среднем порядка 1 мкм.

Следует отметить, что термическое влияние спекаемого слоя на ниже лежащие слои материала приводит к протеканию в них процессов полигонизации и рекристаллизации, при этом в разных объемах можно наблюдать различные стадии развития этих процессов – от субзерен до рекристаллизованных зерен (рис. 2, б) с плоскими границами и стыками углов близкими к 120° (рис. 2, в).

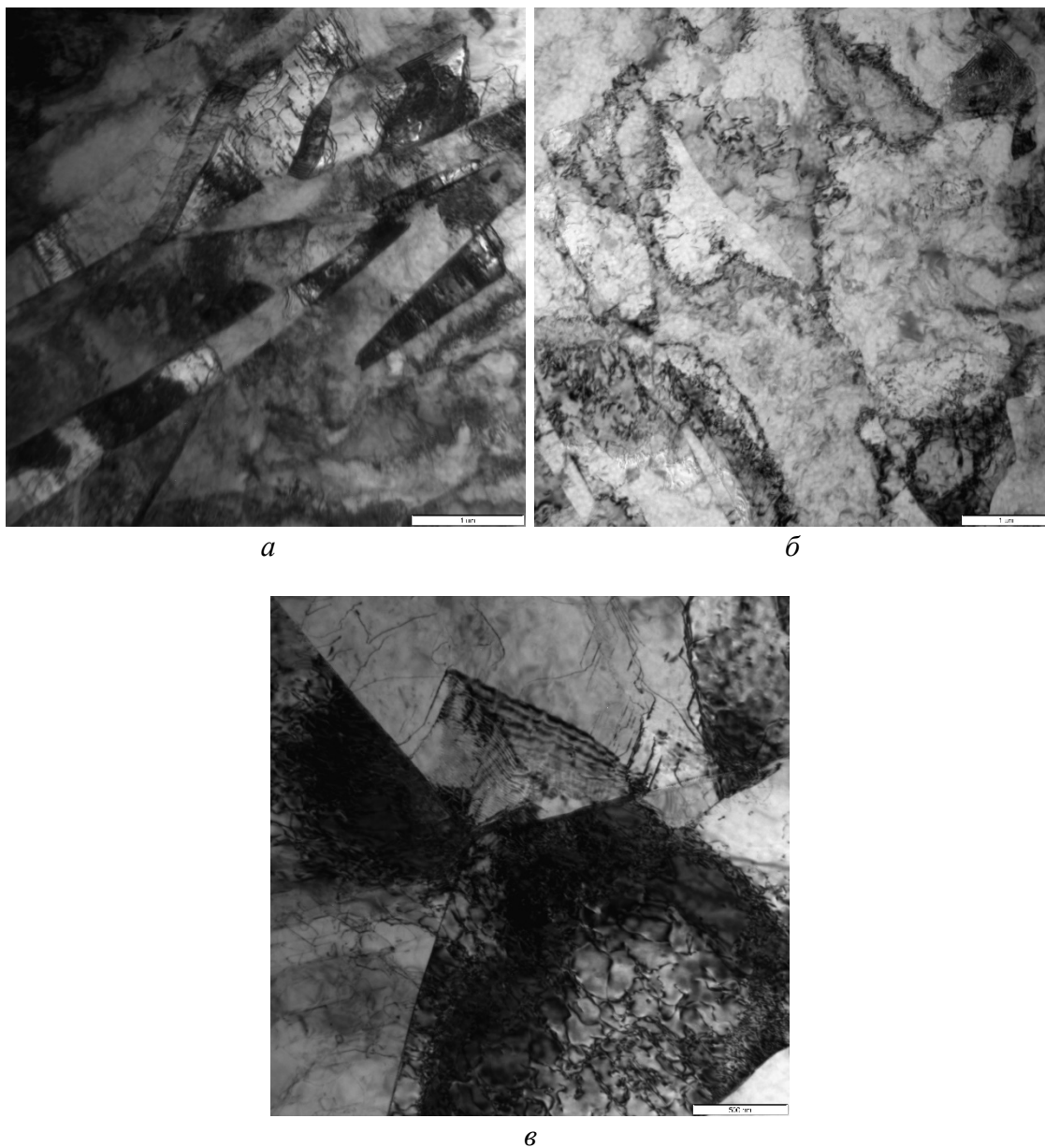


Рис. 2. Светлопольные изображения нелегированного титана марки VT1-0, полученного методом СЛП

Точечные электронограммы с локальных областей, отвечающих пластинам (рис. 3 б) и отдельным зернам (рис. 3, в), качественно подобны и по результатам индиферирования соответствуют α -фазе с гексагональной решеткой.

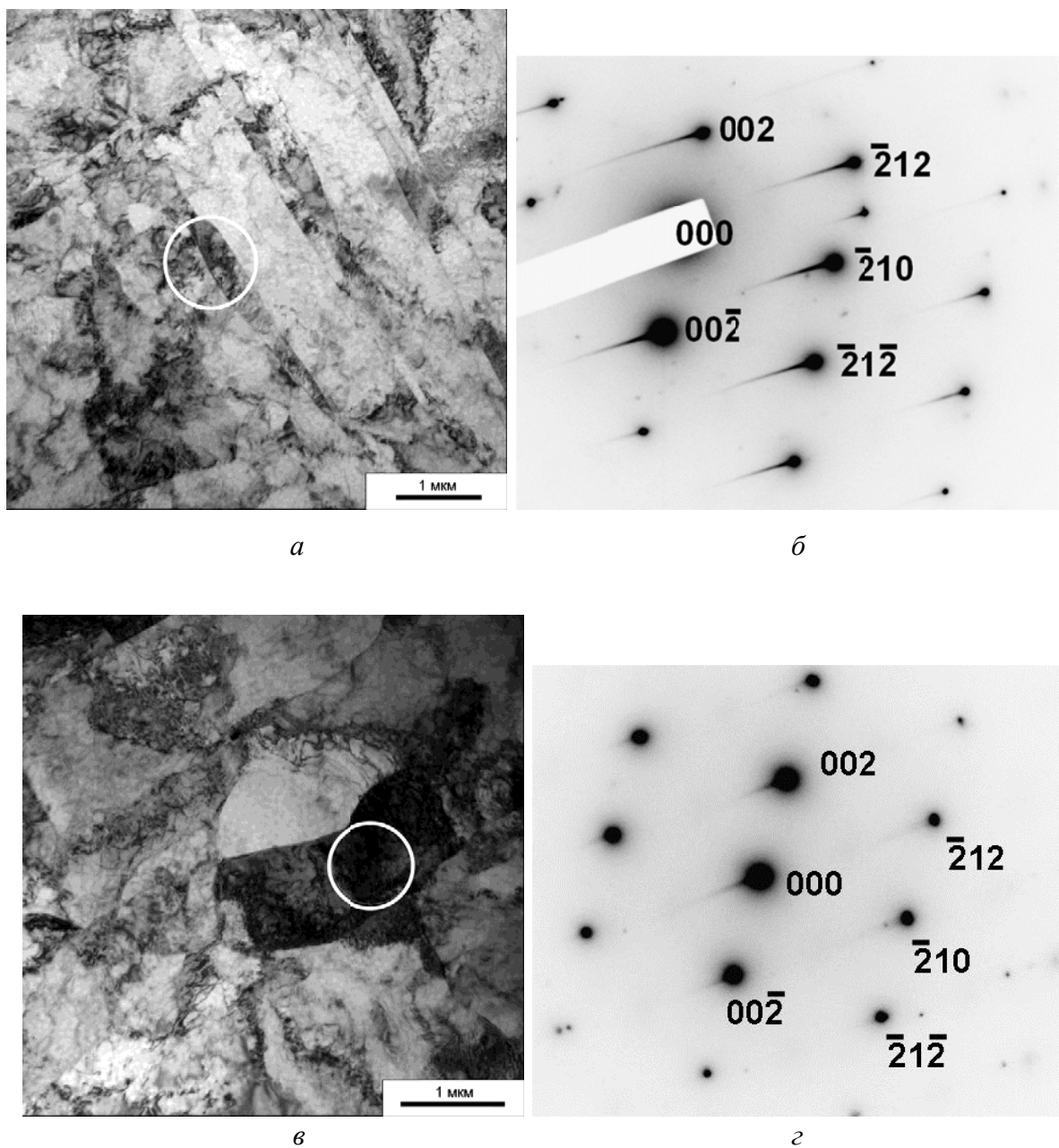


Рис. 3. Микроструктура нелегированного титана марки ВТ1-0, полученного методом СЛП: *а, в* – светлое поле; *б, г* – точечные электронограммы с областей на *а* и *б* и их расшифровка (ось зоны $[120]\alpha$)

При помощи РСФА (рис.4) подтверждено, что фазовый состав представлен 100 % α -фазы и аморфная составляющая отсутствует. Линии уширены и дублет линий $K_{\alpha 1}$ и $K_{\alpha 2}$ – линий не различается, что согласуется с данными ПЭМ о высокой дефектности α -фазы, реализующейся в результате ускоренного охлаждения и возникающих при этом термических напряжений.

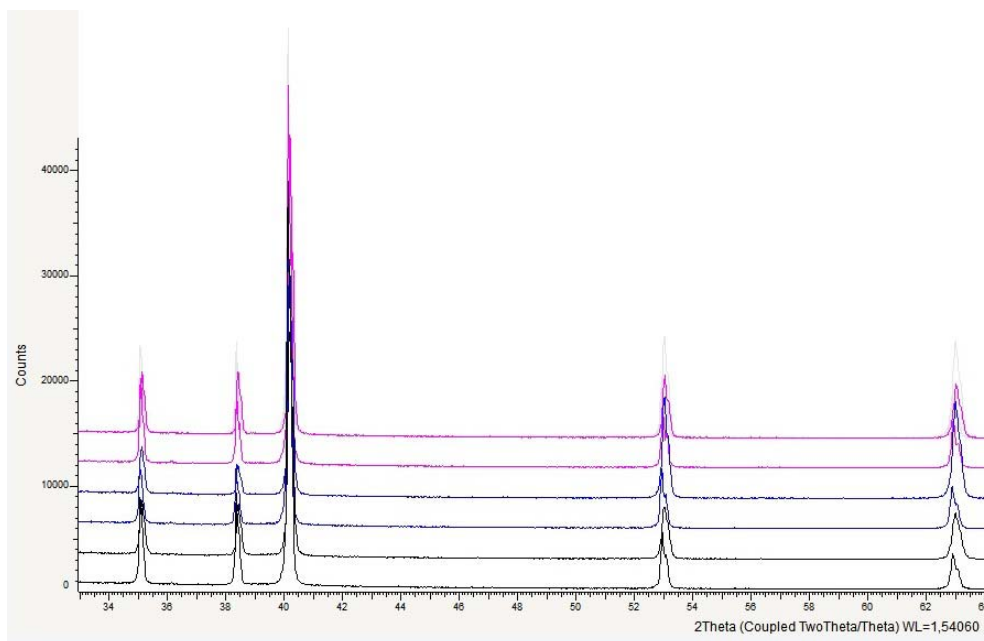


Рис. 4. Дифрактограммы сплава, полученного по различным режимам СЛП

Таким образом, СЛП приводит к формированию крайне неоднородной структуры спекаемого материала, что может быть исправлено проведением последующей термической обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218, номер соглашения 03.G25.31.0234 от 03.03.2017 г.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Microstructure and mechanical properties investigation of CP titanium processed by selective laser melting (SLM) / B. Wysockiab [et al.] // Journal of Materials Processing Technology. 2017. V. 241. P.13–23.
2. Zhang L.-C. Selective Laser Melting of Titanium Alloys and Titanium Matrix Composites for Biomedical Applications: A Review. / L.-C. Zhang, H. Attar // Advanced Engineering Materials. 2016. V. 18. P. 463–475.